une phase alors que votre ou vos récepteurs sont reliés sur d'autres phases, le système ne fonctionnera pas ou très mal. Le remède est simple : il suffit, au niveau de votre disjoncteur EDF, de ponter les phases en HF. Pour ce faire, placez entre les phases 1 et 2, 2 et 3 et 3 et 1 un condensateur de 47 nF isolé à 1 600 V (si votre revendeur n'a pas une telle valeur dans ses tiroirs, voyez un dépanneur TV qui aura très certainement cela).

Théoriquement, l'émission à 100 kHz du montage ne traverse pas le compteur EDF en raison de sa self importante. Vous ne risquez donc aucun problème d'interférence avec vos voisins. Par contre, si vous utilisez déjà chez vous un ou des interphones FM, ils seront perturbés par le montage, ils perturberont le montage ou les deux à la fois si vous avez de la chance. Il n'y a aucune solution si ce n'est d'utiliser l'un ou l'autre mais pas les deux en même temps.

Dernier point, si votre récepteur est le siège de parasites violents, et si bien sûr vous n'avez pas eu de problème de câblage ou de mise au point, il est probable qu'un des appareils connecté sur votre réseau EDF génère des perturbations d'une violence anormale. Procédez à des extinctions successives des divers appareils en service pour trouver le coupable et réparez-le (balais usés pour un moteur, condensateur de déparasitage claqué, etc.). Attention, certains gradateurs de lumière de conception simple, pour ne pas dire simpliste, sont de véritables générateurs de bruits. Il n'existe aucun remède à y apporter, si ce n'est de les arrêter!

Fig. 12. – Implantation des composants du récepteur.

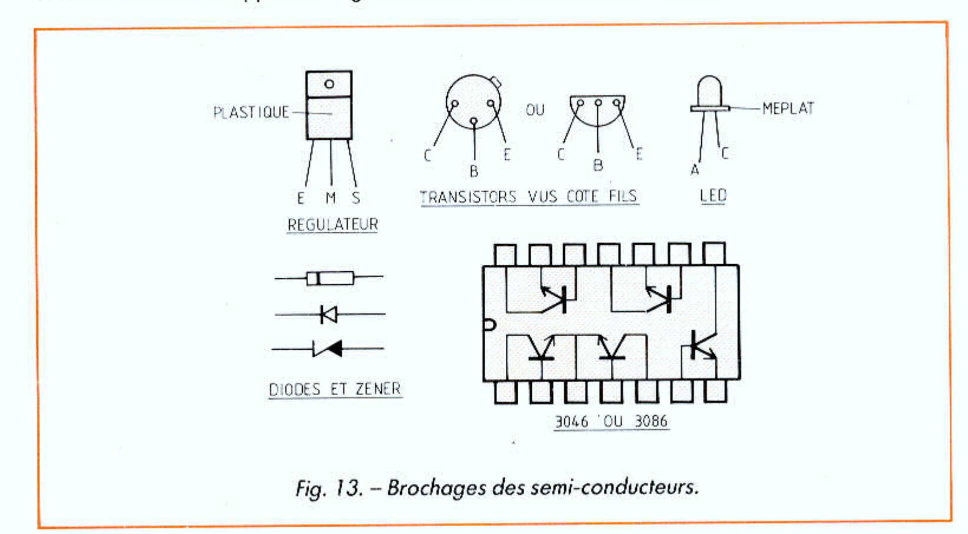


Fig. 13. – Brochages des semi-conducteurs.

CONCLUSION

Nous en avons terminé avec cette description originale et agréable d'emploi qui permet aux amateurs d'ambiance musicale de retrouver celle-ci dans toutes les pièces de leur domicile sans devoir pour cela tisser une toile d'araignée en fils de liaison.

Même si vous n'êtes pas directement intéressé par la réalisation, nous souhaitons tout de même vous avoir fait découvrir un moyen de transmission encore assez peu usité bien que très pratique.

C. TAVERNIER

BILAN ENERGETIQUE D'UNE LIAISON PAR SATELLITE

Une liaison par satellite s'effectue suivant le schéma de la figure 1 où l'émetteur A transmet des informations vers le récepteur B en empruntant le relais C qui est un satellite. Celui-ci étant placé à 36 000 km de la Terre, la distance entre l'émetteur A et le récepteur B affaiblit le signal considérablement, dans un rapport de 1 à 10^{-20}. Pour que la qualité du signal soit bonne, il faut faire appel à un satellite capable d'amplifier suffisamment le signal reçu sans introduire de bruit. Cette amplification est possible grâce à l'emploi des tubes à ondes progressives.

Les ondes sont transmises par faisceaux dirigés à forte concentration. Celle-ci est obtenue par l'emploi d'antennes paraboliques de grand diamètre. Il est ainsi possible de produire un faisceau de 6 000 kW à l'aide d'un émetteur de 200 W relié à une antenne parabolique de 1,5 m de diamètre. Cette puissance produit un flux dans l'antenne de réception parabolique de l'ordre de 10^{-10} W/m^2. Une antenne de 1,5 m de diamètre a une surface de 1,6 m^2, ce qui porte le signal reçu à $1,6 \cdot 10^{-10}$ W. Cette antenne produit un bruit thermique qui représente environ le quart de la puissance de la porteuse.
Le satellite doit amplifier le signal reçu afin de le réémettre avec une puissance suffisante pour qu'il soit bien reçu dans l'antenne de réception au sol. Cette puissance du satellite est actuellement de 200 W. Il faut donc amplifier le signal reçu pour porter sa puissance à 200 W.
L'emploi d'une antenne parabolique permet de créer un faisceau dirigé de forte concentration dont le flux au sol permet de générer un signal à faible bruit à la sortie de l'antenne de réception.

NOTION DE LA PUISSANCE DE TRAVAIL DU SATELLITE

Une puissance de travail de 230 W, dans un satellite, est le maximum de ce que l'on sait faire aujourd'hui, compte tenu de la masse des satellites, de la puissance des lanceurs et des contraintes technologiques. Dans les satellites de TV directe, Thomson-CSF a développé pour le programme TDF1 et TV-SAT un tube de 230 W à 12 GHz qui ne pèse que 3 kg. Deux tubes de ce type montés en parallèle et travaillant en phase avec un rendement supérieur à 50 % couvriront l'ensemble de la France. Ce tube est constitué par l'association d'un faisceau d'électrons long et fin avec une ligne à structure périodique non résonnante et dimensionnée de telle sorte que le faisceau d'électrons soit en interaction avec une onde progressive. La modulation de vitesse des électrons, créée tout au long du faisceau par le champ de la ligne, fait apparaître dans le faisceau un courant alternatif qui excite la ligne dans les deux sens (fig. 2). La condition de synchronisme fait que toutes les ondes partielles créées par cette excitation s'ajoutent dans le sens du déplacement du faisceau, alors qu'elles sont hors de phase dans le sens inverse. La figure 2 montre le principe de fonctionnement du tube à ondes progressives dans un émetteur de satellite à TV directe. Poids du satellite $\simeq 2\,000$ kg.

NOTION DE LA PUISSANCE SURFACIQUE

Dans le cas où l'émetteur rayonnerait au centre d'une sphère de rayon R avec une puissance P_T et une antenne de gain G_T, la puissance surfacique serait :

$$P_o = \frac{P_T \cdot G_T}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$$

Un émetteur de 50 kW rayonnant la même intensité dans toutes les directions produirait à 100 km une intensité de rayonnement surfacique de :

$$\frac{50 \cdot 10^3}{4 \cdot \pi \cdot (10^5)^2} \quad \text{W/m}^2$$

Si l'émetteur se trouve à 36 000 km, l'atténuation d'espace libre diminue l'intensité de rayonnement, et la formule n'est plus valable. Cette atténuation d'espace libre se calcule par la formule

$$A = 22 + 20 \log \frac{D}{\lambda} \text{ (dB)}$$

Dans le cas d'un satellite, $D = 36 \cdot 10^6$ m et $\lambda = 0,025$ m à 12 GHz, ce qui donne une atténuation :

$-203 \text{ dB} = 2 \cdot 10^{-20}$.

La puissance électrique totale d'un satellite de TV directe est de l'ordre de 3 kW. Sa puissance d'émission est de 200 W = 23 dBW, la puissance rayonnée avec une antenne de 45 dB est de 68 dBW = 6 310 kW.
Sa puissance surfacique est de -103 dBW/m^2 au sol. Si l'antenne de réception a un gain de 40 dB, sa surface équivalente de captation :

$$\frac{G_R \cdot \lambda^2}{4\pi} = \frac{10\,000 \cdot 0,025^2}{12,5} = 0,5 \text{ m}^2$$

ce qui correspond à un diamètre de 80 cm.
Avec une puissance surfacique de :

$-103 \text{ dBW/m}^2 = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ W/m}^2$

et une surface de captation de 0,5 m^2, la puissance reçue est de 25 pW. C'est la puissance de la porteuse que reçoit le satellite.
La puissance à sa sortie est de 200 W grâce à l'amplification des tubes à ondes progressives.

BRUIT THERMIQUE

Tout élément résistif – qu'il s'agisse d'une véritable résistance ou du terme résistif d'une impédance – engendre à une température différente

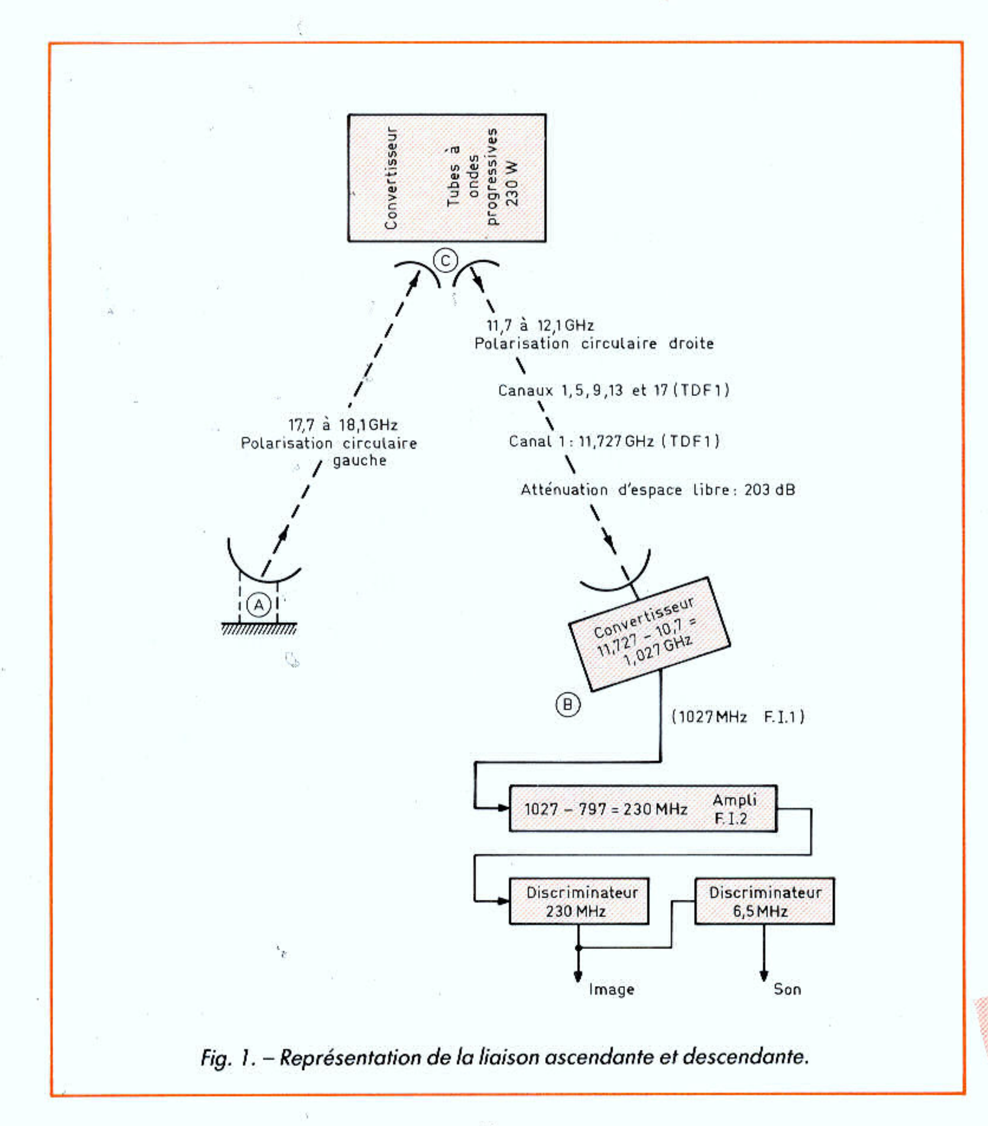


Fig. 1. – Représentation de la liaison ascendante et descendante.

du zéro absolu une force électromotrice dite de bruit thermique. Le récepteur muni d'une antenne parabolique engendre une puissance de bruit thermique qui augmente avec la température T et la bande passante B.

Dans l'entrée du récepteur, cette puissance est donnée par le produit k . B . T.

La constante k = 1,38 . 10^{-23} J/K, la bande passante B = 27 . 10^6 Hz et la température T = 300 K, ce qui donne une puissance de bruit de 111,78 . 10^{-15} W.

Si la puissance de la porteuse reçue est de 25 pW = 25 . 10^{-12} W, le rapport porteuse à bruit thermique est dans ces conditions :

$$\frac{25 \cdot 10^{-12}}{111{,}78 \cdot 10^{-15}} = 2{,}23 \times 10^2$$

= 23 dB

Ce rapport porteuse/bruit concerne le système de captation du signal ; il n'a donc rien de commun avec le rapport signal/bruit du récepteur, qui est supérieur à 40 dB.

La tête S.H.F. de celui-ci est reliée à l'antenne parabolique recevant les canaux 1, 5, 9, 13 et 17 du satellite TDF1 (fig. 1).

Ces canaux occupent la bande 11,7 à 12,1 GHz. La largeur de chaque canal est de 27 MHz.

CONVERSIONS DE FREQUENCE

La première conversion a lieu dans le satellite du fait que la bande de fréquences des porteuses descendant du satellite n'est pas celle de ces mêmes porteuses dans le trajet montant. La deuxième conversion s'effectue dans la tête S.H.F. du récepteur. La bande S.H.F. 11,7-12,1 GHz est convertie en bande 1-1,4 GHz. La figure 1 montre la conversion 11,727 GHz/1,027 GHz du canal 1 à l'aide de l'oscillateur 10,7 GHz. Cette première fréquence intermédiaire (F.I.1) est ensuite convertie à une deuxième fréquence intermédiaire (F.I.2) de 230 MHz. Tous ces changements de fréquence ne doivent produire aucun bruit par interférence. La porteuse de chaque canal est modulée en fréquence par la vidéo et le son d'un programme de télévision. Le signal composite Pal est multiplexé par une sous-porteuse 6,5 MHz modulée en fréquence par le son. Ceci explique la présence des deux discriminateurs de la figure 1. Le satellite joue le rôle d'un convertisseur de fréquences muni d'un amplificateur. Il peut donc retransmettre des émissions de télévision quel qu'en soit le standard.

Pour le programme TV-SAT-TDF c'est la norme D2-MAC qui a été choisie, et qui ne s'adapte pas au schéma du récepteur de la figure 1. Il est fort regrettable que le satellite allemand TV-SAT qui devait voir l'introduction de la nouvelle norme européenne D2-MAC ait échoué.

En attendant, c'est la norme Pal ou NTSC qui est employée dans les satellites en service.

DIMENSIONS DES ANTENNES PARABOLIQUES

La dimension du réflecteur parabolique joue un rôle considérable dans le rendement énergétique d'une liaison. L'atténuation d'espace libre sur 36 000 km est de l'ordre de – 203 dB. Si la liaison s'effectue à l'aide d'un émetteur de 200 W (26 dBW) muni d'une antenne dont le gain est de 30 162 = 45 dB et d'un récepteur muni d'une antenne de même gain, la puissance reçue est environ 26 + 45 – 203 + 45 = – 87 dBW

La surface équivalente d'un réflecteur parabolique se calcule par la formule suivante :

$$S = \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi}$$

Un gain de 30 162 (45 dB) et une longueur d'ondes λ = 0,025 m représentent une surface

$$S = \frac{30\,162 \, . \, 0{,}025^2}{12{,}5} \simeq 1{,}5 \text{ m}^2$$

correspondant à 1,4 m de diamètre.

En décibels :

$$S = . \, G(dB) + \frac{\lambda^2}{4\,\pi} (dBm^2)$$

$$= 45 \, (dB) - 43 \, (dBm^2)$$

$$= +2 \, dBm^2 = 1{,}58 \, m^2$$

R. ASCHEN

BIBLIOGRAPHIE

1. Les tubes hyperfréquences de puissance, H. Hache, TLE n° 520.
2. Cours INFRA R. Aschen
3. Le *Haut-Parleur* n° 1748

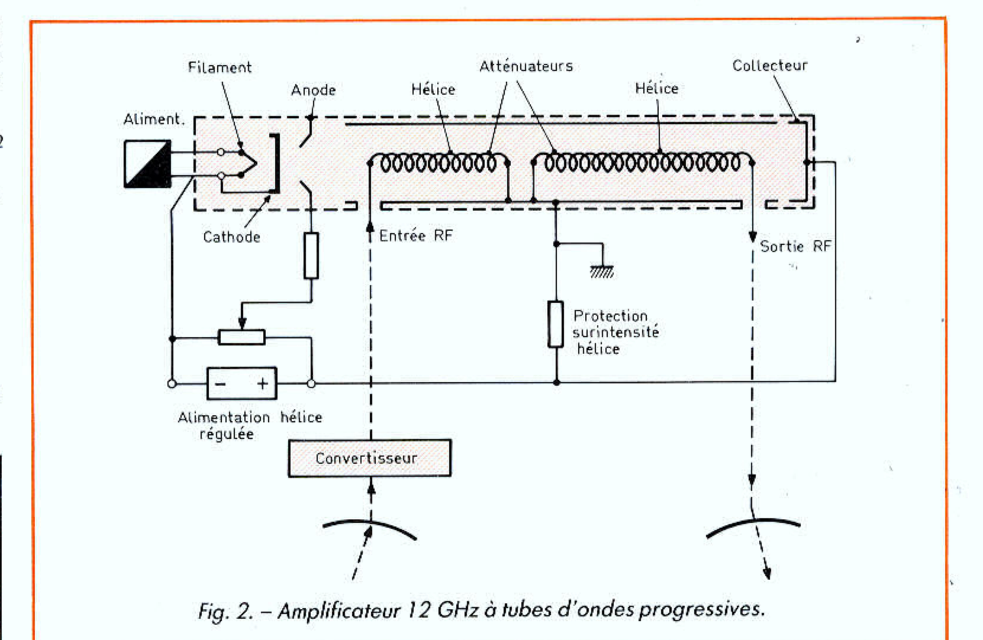


Fig. 2. – Amplificateur 12 GHz à tubes d'ondes progressives.

PUISSANCE SURFACIQUES DES SATELLITES TDF1 ET ASTRA

La puissance par mètre carré reçue au sol « arrosé » par le satellite est la puissance surfacique que nous avons toujours désignée par P_o.

Si nous multiplions cette puissance P_o en W/m^2 avec la surface de captation de l'antenne parabolique de réception S en m^2, nous pouvons calculer la puissance P_A délivrée par l'antenne.

Soit P_T la puissance de l'émetteur du satellite et G_T le gain de son antenne, ce qui donne une puissance rayonnée du faisceau $P_{RA} = P_T \times G_T$ et une puissance au sol du faisceau $P_R = P_{RA}/A$ avec A comme affaiblissement dans le trajet des 36 000 km.

A la sortie de l'antenne parabolique installée au sol, nous obtenons une puissance $P_A = P_R \times G_R$ avec G_R comme gain de l'antenne de réception. La surface de captation de celle-ci :

$S = \dfrac{G_R \, . \, \lambda^2}{4 \, . \, \pi}$ et sa puissance délivrée $P_A = P_o \times S$

On obtient dans ces condition : $P_A = P_R \times G_R = P_o \times \dfrac{G_R \, . \, \lambda^2}{4 \, . \, \pi}$

et $P_o = P_R \times \dfrac{4\,\pi}{\lambda^2} = \dfrac{P_{RA}}{A} \times \dfrac{4 \, . \, \pi}{\lambda^2}$

$P_o = \dfrac{P_T \, . \, G_T}{A} \times \dfrac{4 \, . \, \pi}{\lambda^2}$ $\qquad P_o = \dfrac{P_T \, . \, G_T}{A} \times \dfrac{4 \, . \, \pi}{\lambda^2} (W/m^2)$

En décibels :

$P_o(dBW/m^2) = P_T\,(dBW) + G_T\,(dB) - A\,(dB) + 43\,(dB)$

Avec A = – 205 dB, on a finalement :

$P_o\,(dBW/m^2) = P_T\,(dBW) + G_T\,(dB) - 162\,(dB)$

Partant de cette formule, nous pouvons calculer les puissances surfaciques des satellites TDF1 et Astra.

Pour un gain d'antenne de 40 dB des deux satellites, on trouve pour TDF1 :

$P_T = 200$ W = 23 dBW $\qquad G_T = 40$ dB

$P_o = 23 + 40 - 162 = -99$ dBW/m^2

et pour Astra :

$P_T = 45$ W = 16,5 dBW $\qquad G_T = 40$ dB

$P_o = 16{,}5 + 40 - 162 = -105{,}5$ (dBW/m^2)

La puissance surfacique de TDF1 est de – 103 dBW/m^2 pour 99 % du temps, pendant le mois le plus défavorable.

Bruit thermique de l'antenne de réception

Ce bruit inévitable de l'antenne de réception peut être calculé par : $P_{th} = k \times B \times T$, $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K, $B = 27 \times 10^6$ Hz, T = 300 K, ce qui donne :

$P_{th} = 0{,}11 \times 10^{-12}(W) = -129{,}5(dBW)$

Puissance du signal en sortie d'antenne de réception

La puissance du signal en sortie d'antenne est donnée par $P_A = P_o \times S$ avec S comme surface de captation

$S = \dfrac{G_R \times \lambda^2}{4 \, . \, \pi}$ et P_o comme puissance surfacique.

$P_A\,(dBW) = P_o\,(dBW/m^2) + G_R\,(dB) + \dfrac{\lambda^2}{4 \, . \, \pi}$ (dB)

En employant la même antenne avec G_R = 30 dB (60 cm), on a

– pour TDF1 : $P_A = -99 + 30 - 43 = -112$ (dBW)
– pour Astra : $P_A = -105{,}5 + 30 - 43 = -118{,}5$ (dBW)

Rapport signal à bruit thermique

– TDF1 : $P_A/P_{th} = C/N = -112 + 129{,}5 = 17{,}5$ dB (maximum)
– Astra : $P_A/P_{th} = C/N = -118{,}5 + 129{,}5 = 11$ dB (maximum)

Pour obtenir le même C/N des deux satellites, il faut que l'antenne recevant Astra présente un gain de + 6,5 dB par rapport à celle de TDF1. On peut aussi obtenir le même C/N en augmentant G_T.

(Suite page 141)

CALCUL DE LA PUISSANCE SURFACIQUE PROVENANT D'UNE EMISSION DE SATELLITE 12 GHz

(Suite de la page 139)

La surface de captation de l'antenne de réception est donnée par :

$$S = G_R \cdot \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi}$$

Pour S = 1 m², le gain $G_R = 2 \cdot 10^4 = 43$ dB et la puissance reçue P_o (W/m²) = $P_T \cdot G_T \cdot 1/A \cdot G_R$; P_T est la puissance en sortie de l'émetteur, G_T le gain de l'antenne d'émission, A l'atténuation d'espace libre et G_R le gain de l'antenne de réception. L'atténuation d'espace libre A (dB) = 32,45 + 20 Log F (MHz) + 20 Log D(km).

F = 12 000 MHz D = 37 000 km A = – 205 dB

La puissance reçue avec S = 1 m² est P_o (dBW/m²) = P_T (dBW) + G_T (dB) – A (dB) + G_R(dB).

Pour P_T = 200 W = 23 dBW, G_T = 45 dB,

A = – 205 dB et G_R = 43 dB,

on trouve P_o (dBW/m²) = 23 dBW + 45 dB – 205 dB + 43 dB = – 94 dBW/m².

Les satellites TV SAT et TDF produiront une P_o mini = – 103 dBW/m². Si l'antenne de réception a un gain G_R, sa surface de captation :

$$S = G_R \cdot \frac{\lambda^2}{4 \pi}$$

On a : $\frac{\lambda^2}{4 \pi} = 0{,}5 \cdot 10^{-4} = -43$ dBm²

Si G_R = 45 dB, la surface S = 45 dB – 43 dBm² = 2 dBm² = 1,58 m². C'est la surface de captation d'une antenne de 1,5 m de diamètre.

La puissance reçue :

P_R (dBW) = P_o (dBW/m²) + G_R (dB) – 43 (dBm²).

P_R (dBW) = – 103 (dBW/m²) + G_R (dB) – 43 (dBm²).

Le gain d'une antenne de 1 mètre de diamètre est de 40 dB, d'où : P_R = – 103 + 40 – 43 = – 106 dBW.

La puissance du bruit thermique est donnée par : $P_B = k \cdot B \cdot T$, avec : $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K, $B = 27 \cdot 10^6$ Hz, T = 300 K,

d'où : $P_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 27 \cdot 10^6 \cdot 300 = 111{,}78 \cdot 10^{-15}$ W = – 129,5 dBW.

Le rapport : $\frac{P_R}{P_B} = -106 + 129{,}5 = 23{,}5$ dB